

# Characterization and controlling of foam and scum in activated sludge systems

**Doctoral Thesis****Author(s):**

Hug, Thomas

**Publication date:**

2006

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005180592>

**Rights / license:**

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

DISS ETH NO. 16506

# **CHARACTERIZATION AND CONTROLLING OF FOAM AND SCUM IN ACTIVATED SLUDGE SYSTEMS**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by  
THOMAS HUG  
Dipl. Ing. ETH

born 13 January 1971  
citizen of Mosnang (SG)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Willi Gujer, examiner  
Prof. Dr. Hansruedi Siegrist, co-examiner  
Prof. Dr. Jiří Wanner, co-examiner

2006

# Summary

## Introduction

Activated sludge foaming refers to the formation of stable foam, which is a widespread problem in biological wastewater treatment plants (WWTPs) all over the world. This foam is highly enriched with floating biomass and covers activated sludge tanks, secondary clarifiers and sometimes also occurs in anaerobic digesters. It causes severe operating problems, increases maintenance efforts and may lead to poor effluent quality. It is widely accepted that the formation and stabilization of these foams require gas bubbles, surface active compounds and hydrophobic particles. Gas bubbles in the system originate from aeration and mixing or from gas production in denitrification reactors and anaerobic digesters. Surfactants enter the plant by the wastewater as detergents from households or industry but are also produced by bacteria in the activated sludge. The hydrophobic particles are assumed to be bacteria with a hydrophobic cell surface and hydrophobic molecules adsorbed to the flocs.

Decades of research could not fully clarify the key processes behind this phenomenon. The complexity of the topic and the systems, combined with inaccurate measuring methods, imprecise definitions of terms and confusion of phenomena led to plenty of partially contradicting descriptions and hypotheses.

## Goal of thesis

The goal of this thesis is to systematically identify and investigate factors that play a crucial role in activated sludge foaming. This includes studying the growth of suspected foam producing bacteria as well as elucidating factors that control the foaming potential of activated sludge. The gained insights shall support the validation or falsification of common hypotheses in order to suggest future research directions and to point out promising strategies to prevent or control foaming in WWTPs.

## Methodology

The research presented in this thesis is based on the identification of three major sub-processes of activated sludge foaming: (1) The development of sludge that is able to produce foam, (2) the actual foam formation and stabilization, and (3) the foam accumulation and distribution in the plant.

Therefore, two parallel pilot-scale plants were operated. They were fed with the same wastewater as a full-scale WWTP in which foaming occurs, but operated under strict control of temperature, dissolved oxygen concentration and sludge retention time. Additionally, several full and pilot-scale WWTPs were monitored in order to find correlations among the identified sub-processes.

To enable these investigations, suitable methods had to be developed: A novel method was developed to quantify the abundance of specific bacteria in activated sludge based on fluorescence in-situ hybridization (FISH). To determine the foaming potential of activated sludge under reproducible laboratory conditions, a protocol was developed combining two different test procedures and including the separation of the solid and liquid fraction of the sludge.

## Results

A preliminary study revealed distinct seasonal variations of the bacteria “*Microthrix parvicella*” (*Microthrix*) and different types of nocardioform actinomycetes, organisms that are generally assumed to play a crucial role in the formation and stabilization of stable foams. *Microthrix* was dominating in winter and spring, nocardioform actinomycetes in summer and autumn. Surprisingly, there was no unambiguous correlation of the foam coverage of the reactors with the abundance of any of these organisms.

A mathematical model was developed, describing the observed seasonal variation of *Microthrix* abundance. It is based on the hypothesis that low temperature inhibits lipid uptake of non-specialized heterotrophic bacteria and therefore favors *Microthrix* which is a specialized lipid consumer. This model is not proposed to be used for prediction; it is rather a valuable research tool to identify the relevant mechanisms allowing *Microthrix* to successfully compete in activated sludge systems.

In the pilot-scale plants, nocardioform actinomycetes were not able to remain in the system at a sludge retention time of 10 days and a temperature of 10 or 20°C. Also *Microthrix* could hardly grow under these conditions. It was surprising, however, that *Microthrix* suddenly significantly increased during a period of 20°C. This was possibly enabled by incomplete denitrification. Also unexpected was that *Microthrix* was not found to be responsible for poor floc structure or foaming in the pilot plants. Both phenomena were rather correlated with the operating conditions.

The foaming potential was demonstrated to be controlled by the solids concentration and properties. It was not correlated with the foam coverage of the reactors, the floc structure and surprisingly not with the abundance of the suspected foam producing bacteria *Microthrix*. Furthermore, it is particularly interesting that foam samples and sludge from membrane bioreactors (MBRs) exhibited a considerably higher foaming potential than mixed liquor from conventional plants.

Considering the above mentioned three major sub-processes of foaming, it is remarkable that no correlations were found among the abundance of the identified bacteria, the foaming potential and the foam coverage of the activated sludge tanks.

## Conclusions

Particularly important findings of this thesis are the fact that widespread assumptions about causes of activated sludge foaming, particularly about the role of *Microthrix*, were not valid in the investigated systems, as well as the key role of the surface properties of the sludge solids for foaming.

To prevent or control foaming in WWTPs, the results of this thesis strongly support the following recommendations:

- Continuously removing the foam selectively eliminated the flocs that are able to float.
- Chemical additives to improve sedimentation, particularly poly-electrolytes, are suitable as emergency means to reduce the foaming potential of the sludge.
- It seems that nutrient removal WWTPs provide ideal conditions for foaming. Therefore, one should also focus on the implementation of measures to increase the foam tolerance of existing and future plants.

For future research the following conclusions can be drawn:

- A detailed classification system of different types of foam should be developed.
- The dynamics of the microbial population and the foaming intensity have to be considered.
- Foaming should be understood as series of sub-processes which are to be distinguished.
- A promising direction towards the understanding of foaming will be to study the reasons for the increased foaming potential in foam and MBR samples. A starting point could be the hypothesis of accumulated colloidal substances from microbial activity and biomass decay.
- Last but not least, communication and cooperation among experts from different fields should be improved. Promising disciplines are such that intend to prevent foam, e.g. biotechnology where foaming is a common nuisance, or technologies where stable foams are produced, such as mineral flotation and food production.



# **Zusammenfassung**

## **Einleitung**

Die Bildung von stabilem Schaum stellt eine verbreitete Betriebsstörung in Abwasserreinigungsanlagen (ARAs) auf der ganzen Welt dar. Dabei bildet sich ein viskoser, stark mit Biomasse angereicherter Schaum, welcher Belebungsbecken und Nachklärbecken bedeckt und manchmal auf in Faulbehältern auftritt. Dieser Schaum verursacht erhebliche Betriebsbeeinträchtigungen, führt zu mehr Unterhaltsarbeiten und kann die Gewässer verunreinigen. Es wird allgemein angenommen, dass für die Bildung solcher Schäume Gasblasen, oberflächenaktive Stoffe und hydrophobe Partikel notwendig sind. Gasblasen stammen aus der Belüftung und Schlammumwälzung. Oberflächenaktive Stoffe gelangen in die ARA als Detergenzien aus Haushalten und Industrie, werden aber auch zu einem grossen Teil von den Mikroorganismen im Belebtschlamm gebildet. Hydrophobe Partikel sind vermutlich Mikroorganismen mit hydrophoben Zellwänden sowie an die flocken adsorbierte Stoffe.

Trotz jahrzehntelanger Forschung konnten die entscheidenden Mechanismen der Schaumbildung in ARAs bis heute nicht eindeutig eruiert werden. Die Komplexität der Prozesse und Systeme sowie ungenaue Messmethoden und unpräzise Definitionen von Begriffen und Phänomenen führten zu einer Vielzahl von teilweise widersprüchlichen Beobachtungen und Hypothesen.

## **Ziel der Dissertation**

Das Ziel dieser Dissertation ist eine systematische Identifizierung und Untersuchung von Faktoren, welche in der Schaumbildung eine wichtige Rolle spielen. Dies beinhaltet das Wachstum von Bakterien, von welchen man vermutet, dass sie die Schaumbildung fördern, ebenso wie die Bestimmung von Faktoren, welche das Schaumbildungsvermögen steuern. Daraus gewonnene Erkenntnisse sollen aufzeigen, welche verbreiteten Annahmen für die untersuchten Systeme gültig sind, Folgerungen für zukünftige Forschungsanstrengungen erlauben und Ansatzpunkte zur Schaumbekämpfung bieten.

## Methodik

Die Forschung im Rahmen dieser Dissertation basiert auf der Unterteilung der Schaumbildung in drei Teilprozesse: (1) Die Bildung von Belebtschlamm, welcher fähig ist Schaum zu bilden, (2) die eigentliche Schaumbildung und -stabilisierung, sowie (3) die Anreicherung und Verteilung des Schaums in der Anlage.

Dazu wurden zwei Kläranlagen im Pilotmassstab betrieben. Diese wurden mit dem gleichen Abwasser beschickt wie eine grosstechnische ARA, in welcher Schaum auftritt, aber unter strikter Kontrolle von Temperatur, Sauerstoffkonzentration und Schlammalter betrieben. Zusätzlich wurden mehrere grosstechnische ARAs und Pilotanlagen untersucht um Korrelationen zwischen den identifizierten Teilprozessen zu finden.

Um diese Untersuchungen durchzuführen, mussten geeignete Methoden entwickelt werden: Einerseits wurde eine Methode entwickelt, um Bakterien im Belebtschlamm zu quantifizieren, basierend auf Fluoreszenz in-situ Hybridisierung (FISH). Andererseits wurde ein Verfahren zur Bestimmung des Schaumbildungsvermögens von Belebtschlammproben unter reproduzierbaren Laborbedingungen entwickelt. Dieses basiert auf zwei unterschiedlichen Belüftungs-Prinzipien sowie auf der Auftrennung der Schlammproben in Fest- und Flüssigphase.

## Resultate

Eine Voruntersuchung zeigte ausgeprägte saisonale Variationen der Bakterien „*Microthrix parvella*“ (*Microthrix*) und verschiedener Typen von nocardioformen Actinomyceten, Mikroorganismen, welche allgemein für die Schaumbildung verantwortlich gemacht werden. *Microthrix* herrschte im Winter und Frühling vor, nocardioforme Actinomyceten im Sommer und Herbst. Überraschenderweise korrelierte die Schaumbedeckung der Becken nicht mit der Häufigkeit dieser Organismen.

Ein mathematisches Modell wurde formuliert, welches die saisonalen Variationen von *Microthrix* abbildet. Es basiert auf der Annahme, dass bei tiefen Temperaturen die nicht-spezialisierten heterotrophen Bakterien in der Aufnahme von hydrophoben Stoffen behindert sind, und dadurch der Spezialist *Microthrix* indirekt gefördert wird. Dieses Modell wurde als Forschungstool entwickelt um die Mechanismen zu identifizieren, welche *Microthrix* erlauben sich im Belebtschlamm zu behaupten; es ist daher nicht für Prognosen einzusetzen.

In den Pilotanlagen konnten sich die nocardioforme Actinomyceten nicht halten bei einem Schlammalter von 10 Tagen und einer Temperatur von 10 oder 20°C. Auch *Microthrix* war nur knapp in der Lage unter diesen Bedingungen zu wachsen. Umso erstaunlicher ist die Tatsache, dass sich *Microthrix* in einer Phase mit 20°C plötzlich stark vermehrte. Möglicherweise wurde dies ermöglicht durch eine unvollständige Denitrifikation. Ebenso unerwartet war, dass *Microthrix* nicht für eine Verschlechterung der Flockenstruktur oder für die Schaumbildung in den Pilotanlagen verantwortlich gemacht werden konnte; vielmehr konnten unterschiedliche Betriebsbedingungen als Ursachen identifiziert werden.

Das Schaumbildungsvermögen in den untersuchten Pilotanlagen und grosstechnischen ARAs war deutlich bestimmt durch die Konzentration und die Oberflächeneigenschaften der Feststoff-Fraktion im Belebtschlamm. Es war nicht korreliert mit der Schaumbedeckung auf den Belebungsbecken, der Flockenstruktur und erstaunlicherweise auch nicht mit *Microthrix*, welches häufig für die Schaumbildung verantwortlich gemacht wird. Besonders interessant ist die Beobachtung, dass



Schaumproben und Schlamm aus Membran-Bioreaktoren (MBRs) ein deutlich höheres Schaumbildungspotenzial aufweisen als Schlammproben aus konventionellen Anlagen.

Betrachtet man die drei oben genannten Teilprozesse der Schaumbildung, so ist es bemerkenswert, dass kein Zusammenhang zwischen dem Auftreten der beobachteten Mikroorganismen, dem Schaumbildungsvermögen und der Schaumbedeckung der Becken gefunden werden konnte.

## Schlussfolgerungen

Als wichtige Erkenntnisse dieser Dissertation können folgende Aussagen getroffen werden:

- Weit verbreitete Annahmen über die Mechanismen der Schaumbildung, insbesondere was die Rolle von *Microthrix* betrifft, waren in den untersuchten Systemen nicht gültig.
- Unbekannte Oberflächeneigenschaften der Belebtschlammflocken spielen eine dominante Rolle in der Schaumbildung.

Für die Schaumbekämpfung bekräftigen die Resultate dieser Arbeit die folgenden Empfehlungen:

- Kontinuierliches Abziehen von Schaum entfernt selektiv die flotierbaren Flocken.
- Chemische Zusatzstoffe zur Verbesserung der Sedimentation, insbesondere Polyelektrolyte, können das Schaumbildungsvermögen reduzieren und somit für den kurzfristigen Notfalleinsatz geeignet.
- Da man in näherer Zukunft mit Schaum in ARAs leben muss, sollten vermehrt Massnahmen vorgesehen werden, um bestehende und zukünftige Anlagen weniger anfällig für die Auswirkungen von Schaum zu machen.

Für die zukünftige Forschung können aus dieser Dissertation folgende Schlüsse gezogen werden:

- Eine detaillierte Klassifikation verschiedener Schaumtypen sollte erarbeitet werden.
- Die ausgeprägte Dynamik der Schaumbildung sowie der Zusammensetzung der mikrobiellen Population muss unbedingt berücksichtigt werden.
- Die Schaumbildung in ARAs ist eine Serie von Teilprozessen, welche in allen Untersuchungen strikt unterschieden werden sollten.
- Um das Verständnis der massgeblichen Prozesse der Schaumbildung zu verbessern, dürfte es vielversprechend sein, die Ursachen des erhöhten Schaumbildungsvermögens von Schaumproben und MBR-Schlamm zu identifizieren. Die Hypothese, dass in diesen Systemen angereicherte kolloidale mikrobielle Produkte eine Rolle spielen, stellt einen ersten Ansatz dar.
- Nicht zuletzt sollte der Austausch und die Zusammenarbeit mit anderen Forschungsfeldern intensiviert werden. Besonders interessant sind dabei Disziplinen, die Schaum zu bekämpfen versuchen, z. B. Biotechnologie, oder Technologien, welche stabilen Schaum erzeugen, z.B. Lebensmittelschäumung oder Flotation in der Bergbauindustrie.